

Title	Modeling and Analysis of Interactions in Wireless Resource Allocation(Abstract_要旨)
Author(s)	Kamiya, Shotaro
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2020-03-23
URL	https://doi.org/10.14989/doctor.k22589
Right	©IEICE , ©IEEE
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	ETD

様式VI

博士学位論文調査報告書

論文題目

Modeling and Analysis of Interactions in Wireless Resource Allocation
(無線リソース割当における相互作用のモデル化及び解析)

申請者氏名 神矢 翔太郎

最終学歴

平成 29年 3月
京都大学 大学院情報学研究科 通信情報システム専攻 修士課程 修了
令和 2年 3月
京都大学 大学院情報学研究科 通信情報システム専攻 博士後期課程
研究指導認定見込

学識確認 平成 年 月 日 (論文博士のみ)

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科
(調査主査) 教授 守倉 正博

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科
教授 原田 博司

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科
教授 大木 英司

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報学)	氏名	神矢 翔太郎
論文題目	Modeling and Analysis of Interactions in Wireless Resource Allocation (無線リソース割当における相互作用のモデル化及び解析)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文では、無線通信におけるリソース制御に焦点を当て、システムに応じた適切なリソース制御の提案、並びに制御対象の振る舞いや通信性能の解析を行っている。無線通信におけるリソース制御は、本質的に相互作用を含んでおり、同一周波数で同時に複数の通信を行う場合には、干渉の発生や、送信の時分割を考慮する必要がある。検討対象の無線システムは、無線LANとセルラシステムに大別される。無線LANについては、送信電力制御並びに周波数チャネル制御に焦点を当てて、適切な分散制御アルゴリズムの検討を行っている。セルラシステムについては、上り回線のユーザスケジューリングに焦点を当てて、性能評価指標であるSINRの解析的な評価を行う。</p> <p>無線LANのリソース制御に関する議論の要点は次のとおりである。高密度な無線LAN環境においては、無秩序なアクセスポイント (AP) の配置によって、しばしば複数のAPによるカバーエリアが過度に重複している。このような状況では、無線LAN機器の送信機会が抑制され、システムスループットが低減する。本論文では、この問題に対し送信電力制御による適応的なカバーエリアの調節法を提案している。この際、必要なAPと端末の接続性は維持されることが望ましく、APと接続が不可能な領域 (カバレッジホール) の生じない送信電力制御が求められる。提案手法においては、カバレッジホールを検出するために、端末やAPをカバレッジのセンサーとして利用している。更に、システムの端部に存在するAPは、それ以外のAPと比べて単独でカバーする領域が大きいことにも着目し、端部のAPの送信電力に関する制約を設けることで、面的なカバレッジホールの削減を実現している。</p> <p>上記に加え、本論文では、分散的チャネル制御を提案している。無線LANで利用可能なチャネルは複数あり、異なるチャネルであれば複数の通信が同時に行える。ただし、周波数チャネルの分散的な制御は、相互作用を含む。すなわち、他のAPがいずれのチャネルを選択するかに応じて、自身にとってカバレッジ重複削減の意味で最適なチャネルは異なるという状況が生じる。このもとで、分散的に最適チャネル選択を繰り返せば、チャネルが収束しない問題が生じうる。本論文では、相互作用をゲームによって定式化し、分散的な最適チャネル選択の収束性を獲得している。このような特殊なゲームはポテンシャルゲームと呼ばれ、本論文で設計された利得関数をもとにしたゲームがポテンシャルゲームとなることを示している。</p> <p>セルラシステムにおける上り回線のユーザスケジューリングに関する要点は次のとおりである。本論文では、確率幾何学と呼ばれる無線通信品質定量化の枠組みを用いて、本システムにユーザスケジューリングが適用される場合における通信品質の解析を行っている。一般に、所望信号と干渉信号の電力比は通信品質を決定する大きな要因であるが、従来の解析方法では干渉局の配置の不規則性に起因して、解析評価が困難となり、シミュレーションに頼らざるを得ない問題があった。これに対して、確率幾何学は、干渉局の配置に点過程と呼ばれる確率モデルを仮定したもとで、通信品質を干渉局の配置に関して解析的に平均化する方法を提示し、一般性のある簡潔な解析式の導出を可能にする。ユーザスケジューリングの解析に際しては、選択候補となるユーザ数が多いほどスケジューリングの効果が上がるため、ランダムな配置に対する基地局あたりのユーザ数の分布が必要である。本論文では、本システムにおけるユーザの送信電力制御にも注意し、ユーザ数の分布を導出し、ユーザスケジューリングが</p>			

行われる際の通信品質の解析式を得ている。

本論文の章構成は次のとおりである。第1章では研究背景を述べ、第2章では、以降の章で用いられる理論の基礎的事項、特にゲーム理論と確率幾何学について述べる。第3章、第4章では、無線LANにおける、カバレッジホールの削減を考慮した分散的送信電力制御、収束性を考慮した分散的チャンネル制御について述べる。第5章では、上り回線セルラにおけるユーザスケジューリングの確率幾何解析について述べる。第6章は、本論文の総括である。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、無線通信におけるリソース制御に焦点を当て、制御対象の振る舞いの解析および通信性能の解析を行っている。本研究で得られた主な成果は以下の通りである。

1. 高密度な無線LAN環境においては、無秩序なアクセスポイント (AP) の配置によって、しばしば複数のAPによるカバーエリアが過度に重複している。このような状況では、無線LAN機器の送信機会が抑制され、システムスループットが低減する。この問題に対し送信電力制御による適応的なカバーエリアの調節法を提案している。この際、必要なAPと端末の接続性は維持されることが望ましく、APと接続が不可能な領域 (カバレッジホール) の生じない送信電力制御が求められる。提案手法においては、カバレッジホールを検出するために、端末やAPをカバレッジのセンサーとして利用し、それらのカバレッジを送信電力制御の際の制約条件としている。更に、システムの端部に存在するAPは、それ以外のAPと比べて単独でカバーする領域が大きいことにも着目し、端部のAPの送信電力に関する制約について明らかにしている。

2. 無線LANで利用可能なチャンネルは複数あり、異なるチャンネルであれば複数の通信が同時に行える。そのため、重複するカバレッジの削減に対して、チャンネル制御も有効な手段の一つである。ただし、周波数チャンネルの分散的な制御は、本質的に相互作用を含む。すなわち、他のAPがいずれのチャンネルを選択するかに応じて、自身にとってカバレッジ重複削減の意味で最適なチャンネルは異なるという状況が生じる。このもとで、分散的に最適チャンネル選択を繰り返せば、チャンネルが収束しない問題が生じうる。本研究では、相互作用をゲームによって定式化し、特に、各APに対する利得関数を適切に設計することで、分散的な最適チャンネル選択の収束性を獲得している。このような特殊なゲームはポテンシャルゲームと呼ばれ、本研究で設計された利得関数をもとにしたゲームがポテンシャルゲームとなることを示している。

3. セルラシステムにおいて、上り回線のユーザスケジューリングが行われる際の通信品質の解析解導出に成功している。本研究では、確率幾何学と呼ばれる無線通信品質定量化の枠組みを用いて、本システムにユーザスケジューリングが適用される場合における通信品質の解析を行っている。一般に、所望信号と干渉信号の電力比は通信品質を決定する大きな要因であるが、従来の解析方法では干渉局の配置の不規則性に起因して、解析評価が困難となり、シミュレーションに頼らざるを得ない問題があった。これに対して、確率幾何学は、干渉局の配置に点過程と呼ばれる確率モデルを仮定したもとで、通信品質を干渉局の配置に関して解析的に平均化する方法を提示し、一般性のある簡潔な解析式の導出を可能にする。ユーザスケジューリングの解析に際しては、選択候補となるユーザ数が多いほどスケジューリングの効果が上がるため、ランダムな配置に対する基地局あたりのユーザ数の分布が必要である。本研究では、対象システムにおけるユーザの送信電力制御にも注意し、ユーザ数の分布を導出し、ユーザスケジューリングが行われる際の通信品質の解析式を得ている。

以上、本論文は無線LANやセルラシステムにおけるリソース制御に焦点を当て、無線周波数の有効利用が可能な新規手法を提案し、無線通信システム技術の発展に貢献するものである。本論文の内容は、学術上、実用上ともに寄与するところが少なくない。よって本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものとして認める。

また令和2年2月17日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。